

جمعية المهندسين المصرية

# الكابلات الأرضية

ذات الضغط العالى

أنواعها المختلفة وأحدث الطرق لصناعتها وكيفية استعمالها

للهندس

صلاح الدين الشاذلى

مفتش عام الكهرباء

محاضرة أقيمت بجمعية المهندسين المصرية يوم ١٠ أكتوبر سنة ١٩٥٥

حقوق الطبع محفوظة للجمعية

ESEN-CPS-BK-0000000221-ESE

**00426240**

جمعية المهندسين المصرية

# الكابلات الأرضية

ذات الضغط العالى

أنواعها المختلفة وأحدث الطرق لصناعتها وكيفية استعمالها

للهندس

صلاح الدين الشاذلى

مفتش عام الكهرباء

محاضرة أقيمت بجمعية المهندسين المصرية يوم ١٠ أكتوبر سنة ١٩٥٥

حقوق الطبع محفوظة للجمعية



## الكابلات الأرضية ذات الضغط العالي

أنواعها ، وأحدث الطرق لصناعتها ، وكيفية استعمالها

أيها السادة . زملائي الأفاضل :

يسرني أن تتاح لي هذه الفرصة السعيدة لأحدثكم الليلة في موضوع هندسي هام ..  
حضرات الزملاء : تعلقون حضراتكم أن الشبكات الكهربائية ذات الضغط العالي قد أصبحت في الوقت الحاضر هي شرايين القوة والعمدان وهمة الوصل بين المراكز الصناعية الهامة والعمود الفقري لتوزيع الطاقة الكهربائية على نطاق واسع حتى أصبحت لا تعترف بالحدود الجغرافية للممالك والدول المختلفة .

والشبكات الأرضية التي يستعمل بها الكابلات ذات الضغط العالي هي أهم وأدق ، وأصعب أجزاء الشبكات الكهربائية .

وسيقدمر حديثنا الليلة على صناعة هذه الكابلات وأنواعها المختلفة وطريقة وضعها واستعمالها على أحدث الطرق .

إلى مدة قريبة كانت الطاقة الكهربائية ترسل لمسافات قصيرة بواسطة أسلاك أو كابلات معرأة في خطوط هوائية وذلك إلى أن زاد اقبال الناس على استعمال الكهرباء زيادة كبيرة وأصبحت حاجمة المدن والبلاد الكبيرة إلى الكهرباء كحاجتها للماء والهواء ، وهنا ظهرت ضرورة إحلال الكابلات الأرضية بدلا من الخطوط الهوائية داخل المدن وفي المطارات حتى لا تتعرض حياة الناس للخطر .

وبدأت صناعة الكابلات لضغط لا يزيد عن ١٠٠٠٠ فولت بعزل الأسلاك النحاسية بلفة بالورق المضغوط المشبع بالشمع ومسحوب في مواسير حديدية . ثم أمكن بعد ذلك لفها بالورق الحزوني وحمايتها بغلالة من الرصاص (Lead Sheaths) .

ولما زادت حاجة العالم إلى رفع الضغط الكهربائي لتسهيل إرسال التيار لمسافات أطول تقدمت صناعة الكابلات الأرضية لمسايرة الحاجة للمعزة لارتفاع الضغوط في الخطوط الكهربائية الطويلة ولغاية سنة ١٩٢٠ لم يك تستعمل ضغوط أعلى

من ٢٢٠٠ فولت لإلّا في النادر جدا ولم تأتى سنة ١٩٢٥ حتى كانت الحاجة ملحة لرفع ضغوط الخطوط الكهربائية وبدأ برقمها سنة بعد أخرى إلى ٣٣ ك. ف ثم ٦٦ ك. ف ثم إلى ١٢٠ ك. ف وهلم جرا حتى وصلت الآن إلى ٣٨٠ ك. ف واضطرت صناعة الكابلات الأرضية ذات الضغط العالي مسيرة هذا الارتفاع الكبير السريع . فأصبح من الضروري استعمال ورق العزل من النوع الخاص العالي الكفاءة ليتمكن خفض تكاليف ثمن الكابل إلى أقل ما يمكن — كما أمكن حقن الكابلات بالمخلوط الزيتي Compound وأمكن التغلب على زيادة الضغط القطرى Radial stress من ٢٠ ك. ف على السنتيمتر إلى ٢٦ ثم إلى ٤٥ ك. ف على السنتيمتر وأكثر وذلك بعد اكتشاف طريقة تغليف القضبان Core Screening بالرصاص على نظرية العالم الألماني Hochstadter ومن هنا بدأت صناعة الكابلات الأرضية تزدهر إلى أن وصلت إلى ذروتها .

#### طريقة صناعة الكابلات الأرضية المصمتة Solid Type Cables

١ — تجدل الأسلاك النحاسية أو المصنوعة من الألمنيوم الرفيعة بواسطة ماكينة خاصة ليأخذ قطاعها الشكل الدائرى المطلوب بشكل حبل ثم يلف على بكره .  
٢ — يسحب الكابل النحاس المذكور داخل ماكينة العزل وهي عبارة عن محور طويل مركب عليه على أبعاد متقاربة حوالى ٨٠ سم بكرات تحمل ورق العزل الرقيق القوي المصنوع من لباب الخشب والسيليلوز كل أربعة بكرات على محور واحد وقد يصل عدد محاور هذه البكرات ٢٨ واحدة أى أنه يمكن لف الموصلات النحاسية بعدد ١٢ لفة من هذا الورق وتوقف عدد اللفات على مقدار الفولت أو الضغط الذى سيستعمل له هذا الكابل . ثم يلف الكابل بعد عزله بالورق على بكره أخرى .

٣ — ترسل هذه البكرات لحقنها بالمخلوط الزيتي Impregnated وذلك أولا بوضع هذه البكرات داخل أفران محكمة القفل ثم يفرغ الهواء منها (Under Vacuum) لتتخلص من أى أثر للرطوبة فى الكابل والعازل .

٤ — يحقن الكابل بالمخلوط الزيتي Compound داخل هذه الأفران تحت درجة حرارة تصل إلى درجة ٨٥ درجة مئوية ويبقى مدة قد تصل إلى أسبوع .

٥ - بعد عملية الحقن يسحب الكابل داخل ما كينة لتغليفه بالرصاص وهذه الماكينة عبارة عن مكبس هيدوليكي يصرف فوقه الرصاص لدرجة السيولة ثم يكبس الرصاص بالمكبس داخل المجرى التي يسحب فيها الكابل فيغلف الكابل بالرصاص بالسلك والقطر المطاوعين ثم يبرد ويلف على بكره .

٦ - إذا أريد تسليح الكابل يرسل إلى ما كينة أخرى للفه بأنواع أخرى من الورق والخيش المقطرن ثم يلف بخوص رفيعه Straps من الصلب تثبت بحلقات من الصلب المجلفن على ابعاد متقاربة ثم يعطى بطبقة أخرى من الخيش المقطرن . وسيعرض على حضراتكم فيلما سينمائيا فيه شرح كامل لهذه العملية أتعش أن توفر على كثير من شرح دقائق هذه الصناعة .

هذا النوع من الكابلات هو ما يسمى بالكابلات المصمتة Solid Type Cables ويمكن صناعة هذا النوع اما بتغليف أقطاب الموصلات الثلاثة مجتمعة (Three cores) بعد عزل كل منها وتغطيته بالورق المعدن (Metallised paper or metal tape) أو تغليف كل قطب ( موصل ) وحده وذلك بعد عزله بالورق وتغطيته كذلك بالورق المعدن .

وبتقدم التجارب على الأقطاب المغلفة بالرصاص أمكن صناعة واستعمال كابلات من هذا النوع يصل ضغطها إلى ٦٦ ك . ف في نهاية سنة ١٩٢٩ ولو أنه حدث منها عدة متاعب بعد ذلك أمكن التغلب عليها .

أولا : بتحسين المواد المصنوع منها العازل ( نوع الورق ) .

وثانيا : جعل مقطع الأقطاب ( الموصلات ) المصنوع من عدد من الأسلاك النحاسية على الشكل البيضاوى حتى يأخذ العازل ( dielectric ) الذى يحيطها نفس الشكل والذى يحاول أن يأخذ الشكل الدائرى عندما تتمدد الموصلات بالحرارة وقت التحميل وبهذه الطريقة أمكن التغلب شيئا ما على زيادة حجم المخلوط ( السكبوند Compound ) بالعازل عند ما يسخن وقد أمكن صناعة عدد من الكابلات الناجحة من هذا النوع يصل ضغطها إلى ٦٦ ك . ف منذ سنة ١٩٣٠ ولكن هذا النوع قل استعماله بعد اكتشاف الأنواع الأخرى ذات الضغوط pressurised cables وذلك لأنه ثبت أنه لا يمكن استعمال هذا النوع من الكابلات

عند ما يزيد الضغط على ٦٦ كيلو فولت وذلك لأن الأبحاث الطويلة والجهود المضنية أوضحت أن زيادة معامل ضغط العازل إلى أعلا من ٤٥ ك . ف على السنتيمتر مع ارتفاع درجة الحرارة زيادة عن ٦٥ درجة مئوية تسبب في أغلب الأحيان فشل العزل وذلك لحدوث بعض فجوات صغيرة ( voids ) بين عوازل الأقطاب نتيجة لموجات التمدد والانكماش التي تحدث في المخالوط الزيتي (Impregnating Compound) المحقون به أوراق العزل من أثر تغير الأحوال في الكابلات عند استعمالها فيحدث ما يسمى تأين ( Ionization of Gas ) في هذه الفجوات الصغيرة يسبب فشل العزل .

فورق العزل المصنوع من مادة السيليلوز عند حقنه بالكبوند يمتص كمية كبيرة منه ومن الملاحظ كقاعدة أن حجم هذا الورق يتضاعف بعد عملية الحقن ( Impregnation ) وكلما زاد الفولت المستعمل في الكابلات وجب زيادة سمك ورق العزل على الموصلات ( الأقطاب ) بالطبيعة وتضاعف بذلك كمية الكبوند المستعمل . وعند ارتفاع درجة الموصلات عند تحميل الكابل ٢٥ درجة مئوية فقط يزيد حجم الكبوند بحوالي ٢ ٪ وهذه الزيادة في الحجم تسبب انبعاج الغلاف الرصاصي الذي يحيط بالموصلات المعزولة . وعند انخفاض الحمل يبدأ الكبوند في الانكماش بسبب انخفاض درجة الحرارة ولا يستطيع الغلاف الرصاصي الذي كان قد اتسع قليلا الرجوع تماماً إلى حالته الأولى بعد انكماش العازل . وبذلك يترك فجوات صغيرة داخل الكابل وتحت الضغوط العالية (dielectric stresses) تنشأ في الفجوات المذكورة ما يسمى بالكرونا (corona phenomena) وهذه تسبب مع الوقت أضعاف العازل ، ومن ثم إل قصر في الكابل (Break down) . وقد أمكن تقليل الضرر في مثل هذه الحالة بوضع غلالة معدنية بين العازل والغلاف الرصاصي في الضغوط المتوسطة ولكن عند ارتفاع الفولت أكثر من ٦٦ ك . ف وجدت أنها غير كافية لمنع الكرونة في الفجوات الداخلية في العازل وثبت بعد ذلك عملياً عدم إمكان صناعة كابلات من النوع المصمت ( Solid ) لضغط يزيد عن ٦٦ ك . ف .

وأصبح الآن مفهوماً أن الحد الأعلى التي يمكن أن تحتمله الكابلات الأرضية من النوع المصمت ( Solid type ) هو ٦٦ ك . فولت .



ولما زادت الحاجة لرفع الضغط الكهربائي في الشبكات المختلفة عن الضغط المذكور آنفاً والتي لا يمكن بعدها استعمال هذا النوع من الكابلات أصبح من الضروري البحث عن تصميم أنواع أخرى من الكابلات تسمح باحتمال استعمال ضغط أعلى بنجاح على عوازل الموصلات الكهربائية (Higher dielectric stress) وقد اكتشفت نظرية أساسية للتغلب على الصعوبات الناتجة من الفجوات والتخلخلات التي تحدث نتيجة التمدد والانكماش الناتج من تغير الاحمال وذلك بملئها بمائل عازل تحت ضغط ( Fluid under pressure )

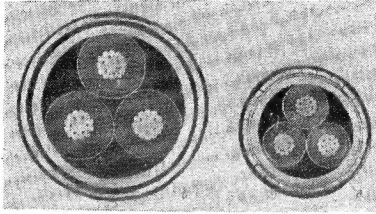
#### الكابلات الزيتية Oil filled Gables

كان الفضل في ظهور هذه النظرية لـ Fisher & Atkinson بانجلترا في أواخر سنة ١٩٢٥ و Hochstadter بألمانيا في أوائل سنة ١٩٢٦ .

وهذا النوع من الكابلات تعزل موصلاته بالورق المحقون بالزيت الخفيف الواطى الأزوجة (Imprignated with low Viscosity oil) وبه ثقوب طولية (longitudinal ducts) يمر بها الزيت ويتصل بصهاريج التمدد Expansion tanks توضع في نهايات مسار الكابل لتمده بالزيت اللازم تحت ضغط كافى للملء الفجوات التي تحدث من التغيرات الحرارية والتأكد من انعدامها عند تغيير درجة الحرارة بسبب تغير الحمل .

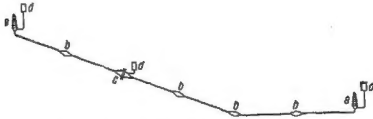
ومن هذه الصهاريج يسير الزيت المضغوط داخل المجارى الطولية في الكابل ومنها يسير بين طبقات العزل وتملأ الفجوات الموجودة به عند ما يبرد الكابل . والثقوب الطولية ( longitudinal oil ducts ) التي يسير داخلها الزيت اما أن تكون داخل الموصلات أو محيطة بها كالرسم الموضح .

الزيت الخفيف المستعمل في الكابلات وثقله النوعى حوالى ٩, والمستعمل في هذا النوع من الكابلات يتبع في سسيده قوانين الهيدروستاتيك Hydrostatic والهيدروديناميك Hydrodynamic ولذلك فانه كلما كان مسار هذا النوع من الكابلات في مستوى واحد تقريباً فان ضغط الزيت يكون متساوياً تقريباً في طول مسار الكابل ولكن هذا الضغط يقل أو يزيد عند ما يكون مسار الكابل غير مستوى وذلك بمقدار ما يساوى ١ كيلو جرام على السنتيمتر المربع



شكل (١)

شكل فرق لإرتفاع قدره ١١ مترا تقريبا ولهذا وجد من الضروري تسليح هذا النوع من الكابلات وتقوية غلافه الرصاصي ليحمل فرق ضغط الزيت بين أوطى مسار للكابل وأعلى نقطة فيه ، كما أنه يجب العناية في تصميم صناديق الوصلات ( junction boxes ) بحيث تكون محكمة القفل ( liquid tight ) كما يجب وضع صناديق تغذية من صهاريج زيتية في مواضع مناسبة لتخفف من الضغط الهيدروستاتيكي في مسار الكابل وتسمى هذه الصناديق (Stop joints) وذلك كالنقطة الموضحة في الرسم (٢)

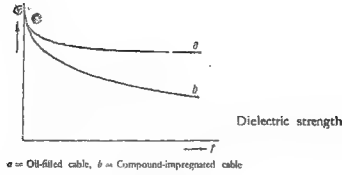


a = Sealing end, b = Ordinary junction box, c = Stop joint, d = Expansion tank

Simplified profile of oil-filled cable line

شكل (٢)

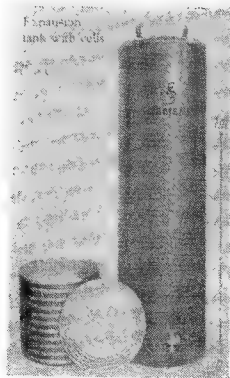
وتمدد الزيت بالحرارة thermal expansion من الأهمية بمكان عند تصميم مسار الكابلات الزيتية . والعادة أن الزيت المستعمل يزيد حجمه بمقدار ٤ ٪ عندما ترتفع درجة الحرارة بمقدار ٥٠ درجة مئوية وفي طريقه عند تمده إلى الصهاريج الزيتية (expansion tanks) عليه التغلب على المقاومة الهيدروستاتيكية Hydrodynamic resistance والتي تحسب على حسب مسار المجرى الزيتي وكثافة الزيت المستعمل . ( أنظر رسم ٣ )



شكل ( ٣ )

وتتوقف سرعة تمدد الزيت على مقدار إرتفاع درجة الحرارة في الكابل ولما كانت المقاومة الديناميكية لا يمكن اختزالها تماماً فلا بد من حدوث ضغط ديناميكي مؤقت وعماثل إلى أن يفنى بعد ذلك مع زيادة سير الزيت المتمدّد . ويحدث مثل هذا تماماً في طريق معكوس عندما يرجع الزيت من الصهاريج إلى مجراه بالكابلات عندما يبرد الكابل وقت انخفاض الحمل ويسمح إختيار مواضع هذه الصهاريج حتى يمكن إبقاء الضغوط متساوية وفي النطاق المرغوب فيه طول مسار الكابل

أنظر الرسم ١٣



شكل (١٣)

### أهم الخواص الكهربائية للكابلات الزيتية :

(أولاً) لما كان الورق العازل يبقى دائماً تحت الحقن ( Imprignated ) بالزيت وقت الاحمال المختلفة فإن خواص العزل تمتاز كثيراً على مثيلاتها المحقونة بمادة الكومبوند في الكابلات المصمتة .

(ثانياً) يمكن للكابل الزيتي احتمال ضعف الفولت الذي يحتمله الكابل المصمت عندما يكون سمك العزل في الاثنين متساوي .

(ثالثاً) قوة العزل ( dielectric strength ) في الكابلات الزيتية تعادل ثلاثة أمثال شبيهاً في الكابلات المصمتة . كإن قوة العزل هذه العالية في الكابلات الزيتية لا تتأثر بارتفاع درجة حرارة الكابلات بل وجد أنها بالعكس تتحسن بارتفاع درجة الحرارة عند تحميلها أكثر من بقائها بغير استعمال .

(رابعاً) معامل الضغط ( dielectric Stress ) على العزل في الكابلات المصمتة لا يمكن رفعها لأكثر من ٥٠٠٠ فولت على المليمتر بينما هي في الكابلات الزيتية تصل إلى ١٠٠٠٠ فولت على المليمتر أو تزيد ولهذا يمكن تخفيض سمك العزل في الكابلات الزيتية إلى نصف سمكه في الكابلات المصمتة المشابهة .

(خامساً) أعلا ارتفاع في درجة حرارة الكابلات المصمتة المسموح به ٢٥٥ درجة مئوية بينما في زيلائها الزيتية يمكن رفع درجة حرارتها إلى ٥٠ درجة مئوية بدون تعرضها للخطر .

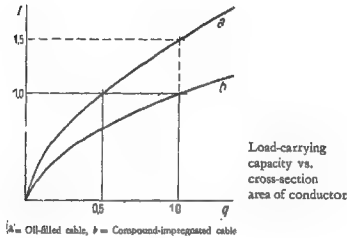
(سادساً) لإرسال نفس التيار الكهربائي في الكابلات الزيتية تحتاج إلى نصف قطاع الموصلات في الكابلات المصمتة . أو بعبارة أخرى فإن الكابلات الزيتية يمكن أن تحتل مرة ونصف الحمل الذي يحتمله الكابلات المصمتة ونفس المقطع أنظر الرسم ( ٤ )

( سابعاً ) رغم هذه الميزات المتعددة فإن ثمن الكابل الزيتي أرخص من ثمن شبيهه المصمت والذي ينقل نفس القوى بما لا يقل عن ٢٠ ٪

### أهم ما يؤخذ على الكابلات الزيتية :

(أولاً) إذا استعملت هذه الكابلات في مسارات غير مستوية أى متغيرة

الارتفاعات والانخفاضات في البلاد الجبلية مثلاً فإن الضغط الاستاتيكي يرتفع عند قطاعات الكابلات التي تسير في أوطى مسار بينما تنخفض كثيراً في المسارات العالية ، ويتسبب عن هذا إختلاف ضغط الزيت في نقاط مختلفة من مسار الكابل وبما ج هذا بوضع وصلات إضافية وصهاريج زيتية (stop joints) (expansion tanks) على أبعاد متقاربة تنتخب في مسار الكابل .



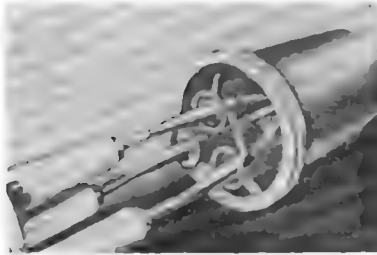
شكل (٤)

كما أن الغلاف الرصاصي للكابل يجب تقويته بزيادة سمك الرصاص ليحتمل هذا الضغط الاستاتيكي وتسليحه تسليحاً قوياً — كما أنه يجب حماية الغلاف الرصاصي ومعدن التسليح بطبقة من الكاوتش بتوقف سمكها على نوع تربة الأرض التي يسير فيها الكابل لحايتها من الصدأ (corrosion)

(ثانياً) وصلات الكابلات الزيتية junction boxes تحتاج إلى عناية كبيرة وخبرة خاصة في توصيلها وكذلك وصلات النهايات (sieling ends) وصلات التقسيم (stop joints) وذلك خوفاً من تسرب الرطوبة إلى الزيت وقت عمل هذه الوصلات فيضعف من قوة عزله وربما يسبب حدوث صدأ في الموصلات أو الغلالة الرصاصية الحامية (corrosion) ولعل هذا البند هو أخطر ما كان يوجه إلى الكابلات الزيتية من الانتقادات (انظر الشكل ٥٠٥ ٥٠٦ ب)



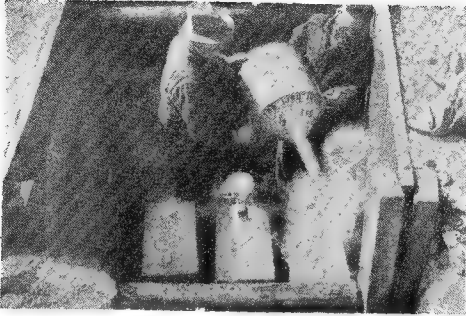
شكل (٥٠)



شكل (١٥)

وقد تمكنت الشركات الألمانية من التغلب على هذا العيب الخطير عند ما اكتشفت طريقة تجميد الزيت في اطراف الكابلات (freezing) بواسطة الهواء السائل (liquid air) وذلك حتى قفلا إلى المسار وقبل عمل وصلات الكابل في الصناديق (junction boxes) وبذلك ضمنت عدم تسرب الرطوبة أو خلاصها وكذلك عدم تسرب الزيت وقت التركيب حتى إذا تمت عمل الوصلات بأمان أعيد ذوبان الزيت وسمح له بالسير في طريقه العادي . ( انظر الرسم ٦ )





شكل (٦)

لندن طوله ٣٧ر٥ ميل وضغطه ١٣٢ ك ف من النوع الفردي كذلك *Singls Core* ويتراوح ضغط الزيت في هذا النوع من ١ — ٥ كجم/سم<sup>٢</sup> ويمكن رفع هذا الضغط إلى حوالي ٨ كجم/سم<sup>٢</sup> في الحالات التي ترتفع فيها درجة الحرارة بسرعة .

#### كابلات الغاز المضغوط *Gas pressured Gables*

هذا النوع من الكابلات بدأت صناعته قبل الحرب العالمية الثانية بقليل وهو يشبه الكابلات الزيتية في أغلب خواصها وقام على نفس النظرية حيث استبدل الزيت بغاز مضغوط هو في الغالب غاز النتروجين ويحقن هذا الغاز في مجاري تسير في طول الكابل بضغط كاف لملء الفجوات التي تنشأ في العازل نتيجة التغيرات الدائمة في درجة الحرارة والذي سبق شرحها عند الكلام على الكابلات المصممة ويمنع بذلك حدوث تأين (ionization) في العزل من أثر ظروف العمل ، ويتراوح ضغط الغاز بين ١٠ — ١٥ كجم/سم<sup>٢</sup> ولذلك وجب تسليح الكابل بدرجة كافية لاحتمال مثل هذا الضغط العالي نسبيا — كما تتميز مسارات هذه الكابلات بضواغط الغاز وأجهزة أمان (Relays) للتبلييه بوجود خلل إذا ما انخفض الضغط عن الحد المعين وبذا يسهل تلافي العيب قبل وقوعه .



ويصنع من هذه الكابلات ثلاثة أنواع :

(١) الكابلات المملوءة بالغاز Gas filled cables

هذا النوع من الكابلات عازل موصلاؤه من الورق الغير محقون pre-impregnated أى ليس به كبريت و لا زيت ويتخلل الغاز :مرابط الورق العازل حيث يكونان معا المادة العازلة ويتسع قطر الغلاف الرصاصى بمقدار ٠,٦٥ من المليمتر فى حالة الموصل الواحد (Single core) ليسهل المرور المحورى للغاز والذي يمر أيضا بين لفات الورق الغير محقون ، وهذا النوع يشبه الكابلات الزيتية أى أن الغاز يقوم مقام الزيت فى عملية الحقن للعازل ، ولم يستعمل هذا النوع إلى فى مسافة لا تتجاوز ١٨ ميلا بالانجلترا خلال خمسة أعوام من سنة ١٩٣٧ إلى سنة ١٩٤٢ .

(٢) الكابلات المحقونة ذات الضغط Impregnated pressure cables

وهذه تشبه الكابلات المصنعة تماما فى صنعيتها غير أن لها مجرى طولى لمروور الغاز المضغوط فيها وأن يكون الكبريت من النوع المحقون الذى يتمثل العزل به ضغطا عاليا ويزيد قطر الغلاف الرصاصى للكابلات ذات المقطع الواحد Single core بحوالى ١,٧٥ مم : وفى الكابلات ذات الثلاث مقاطع three cores بحوالى ٧,٥ مم مع وجود ماسورة قطرها حوالى ٦,٢٥ مم تسير داخل الكابل فى الجزء العازل لمروور الغاز به وتستعمل هذه الماسورة لتسهيل مرور الغاز بين الوصلات المختلفة وكان أول استعمال لهذا النوع من الكابلات سنة ١٩٤٠ بضغط قدره ٦٦ ك. ف كما كان أول استعمال مثل هذه الكابلات ذات الثلاث مقاطع و لضغط ١٣٢ ك. ف هو سنة ١٩٤٤ ويكثر استعمال هذا النوع فى انجلترا .

(٣) الكابلات المضغوطة (Compression cables)

هذا النوع من الكابلات يختلف شيئا ما فى النظرية الأساسية للاستعمال عن الأنواع التى سبق شرحها فالجزء الداخلى من الكابل هو تماما كشمبيه من الكابل المصنعة (Solid) يحاط بغلالة رفيعة من الرصاص وهذه تسير داخل غلاف آخر خارجى ويلا الفراغ الموجود بينهما بالغاز المضغوط لينبع تكوين الفقجوات الصغيرة ( Voids ) داخل الكابل .

وفى بعض الأحيان يمكن تغليف الموصلات الثلاثة بغلاف رصاصى واحد لكابلات من هذا النوع والتى تستعمل لضغط حتى ٦٦ ك ف ويمكن أن يكون الغلاف الخارجى فى هذه الحالة خطا من المواسير الصلب المختلفة يسحب داخلها

الجزء الداخلي من الكابل أو تغلف بغلاف آخر من الرصاص المقوى والمسلح تسليحا كافيا لاحتمال ضغط الغاز .

وقد استعمل هذا النوع بنجاح منذ أوائل الحرب الأخيرة

وكابلات الغاز المضغوطة التي تسير في خطوط من المواسير الصلب المجلفن ( Pipe line compression cables ) هي أفضل خطوط الكابلات الأرضية التي تقاوم حوادث الالتفاف خصوصا في البلاد التي لم تنم لها المشروعات العمرانية والصحية كشبكات المجارى والمياه والتلفونات وخطوط التنظيم ، كالحاصل الآن في مدينة القاهرة — وهذا النوع يستعمل الآن بكثرة في المانيا وانجلترا وأغلب بلاد أوروبا حتى فاق كثرة استعماله الكابلات الزيتية .

وهو يشترك في جميع المميزات التي شرحتها عن الكابلات الزيتية وثمنه مقارب جدا لما كما أنه أرخص من الكابلات المصنعة بحوالي ١٥ ٪  
والجدول الآتي يبين أقصى درجة حرارة مسموح بها لكل من الأنواع الثلاثة للمقارنة :

نوع الكابل	الفولت المستعمل ك . م ف	أقصى درجة حرارة مسموحة ° م		
		في الأرض ° م	في الهواء ° م	في مجرى خرساني ° م
Solid مصلب	٣٣ ك . ف	٦٥	٦٥	٥٠
	٣٣ ك . ف	٦٥	٦٥	٦٥
	٣٣ ك . ف	٦٥	٦٥	٥٠
	٦٦ ك . ف	٦٠	٦٠	٥٠
	٦٦ ك . ف	٦٥	٦٥	٥٠
كابل زيتي كابل غازي	جميع الضغوط	٨٥	٨٥	٨٥

ومن هذا الجدول يتضح أن الكابلات المصنعة لا تصلح للاستعمال لضغط يزيد عن ٦٦ ك . ف كما أن أقصى درجة مسموح بها هي ٦٥°م عند ما يوضع الكابل في الأرض مباشرة بينما لا يصبح أن ترتفع درجة حرارته عن ٥٠°م فقط عند ما يوضع في مجرى خرساني — كما يتضح أن الكابلات الزيتية أو الغازية تستعمل لجميع الضغوط مهما ارتفعت وان أقصى درجة لها هي ٨٥°م في جميع أوضاعها .

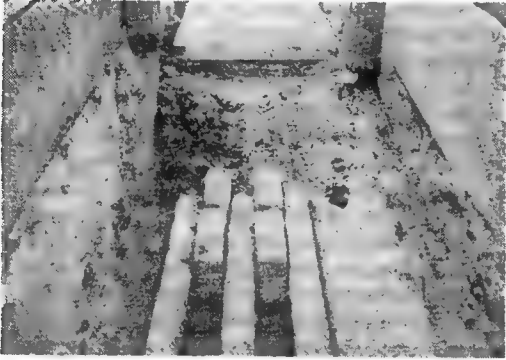
### الطرق المتبعة في وضع الكابلات الأرضية في مسارها

أولا : يختار الطريق الذي يسير فيه الكابل بحيث يكون مستقيما وفي مستوى واحد بقدر الامكان فاذا تغير الاتجاه وجب أن يأخذ الانحناء المسار الدائري وتجنب الانكسارات العنيفة حتى لا يؤثر على عازل الكابل .

ثانيا : يجب أن يكون المسار في الجانب الأيسر للشارع ومجاور للرصيف وبمسار عن مسارات مواسير المياه والمجارى وكابلات التلغرافات وفي شوارع تمت جميع أعمالها الصحية والعمرانية والبلدية .

ثالثا : يخفر خندقا عمقه حوالي ١٢٠ سم وعرضه حوالي متراً وتسوى أرضيته بوضع حوالي ١٥ سم من الرمل أو التراب الناعم كمخذه لوضع الكابل فوقها بعد فرده وجره على المسارات العجلة المعتادة ثم يغطى بطبقة مشابهة من الرمل أو التراب الناعم إذا كان ذا ثلاث موصلات ، فان كان ذا موصل واحد وضع كل موصل بجانب الآخر على مسافات متقاربة حيث يفصل بينها بقالب طوب ثم تغطي كذلك بالرمل أو التراب ثم يوضع فوق هذا ألواح من الخرسانة المسلحة سمكها ٦ سم بمرض الخندق لحاية مسار الكابلات ثم يردم فوقها بمادة طينية ( ويحذر الردم بالأحجار أو الحصى ) إلى مستوى الشارع ثم يسفلت كالعادة — وعند الوصلات ( joint boxes ) تعمل حجرات تفتيش مبنية بمقاسات مناسبة حيث يصب لها قواعد خرسانية لصناديق التوصيل حيث تلحم أطراف الكابلات بعناية

ومهارة فائقة وكذلك توصل النهايات ( Sealing ends ) بمثل هذه العناية بمداخل  
محطات التوليد أو التحويل ( أنظر شكل ٧ )



شكل ( ٧ )







